



УДК 546.56:550.42:504.4.054

Содержание химических элементов в болотных экосистемах Северного Алтая

Г. В. Ларина

Горно-Алтайский государственный университет

Л. И. Инишева, Е. В. Порохина

Томский государственный педагогический университет

Аннотация. Болотные экосистемы выполняют ряд функций: гидрологическую, геоморфологическую, климатологическую и др. Они служат гигантскими естественными фильтрами, поглощающими токсичные элементы. Поэтому исследование содержания химических элементов в торфяных залежах болот и более подвижных их соединений в болотных водах представляет большой интерес для оценки экологического состояния территории. Целью наших исследований было изучение элементного состава торфов и болотных вод низинного (Турочак) и двух переходных (Кутюшское и Ынырга) болот на территории Северного Алтая. Болото Турочак площадью 119 га, датируемое возрастом 7060 ± 90 лет, мощностью торфяной залежи до 6 м подстилается органоминеральными отложениями. Торфяная залежь болота Кутюшское, датируемая возрастом 2215 ± 140 лет, сложена переходными торфами мощностью 2,0 м, площадью 850 га, подстилается органоминеральными отложениями. Болото Ынырга площадью 1382 га, мощностью до 2,1 м имеет возраст 2265 ± 140 лет, его подстилающими породами являются глины и суглинки. Химические элементы определяли методами инверсионной вольтамперометрии и нейтронно-активационным. Исследования показали, что содержание химических элементов в торфяных болотах меньше, чем в почвах и почвообразующих породах Алтайской горной области. В низинном болоте происходит концентрация элементов в верхнем слое торфяной залежи (до 225 см), а в переходной торфяной залежи достоверно увеличивается содержание практически всех химических элементов в слое, прилегающем к подстилающей породе. Таким образом, торфяные болота Северного Алтая относятся к экологически чистым объектам.

Ключевые слова: болото, Алтай, болотные воды, торфа, свойства, химические элементы, торфяная залежь, органическое вещество, фоновое содержание, экология.

Введение

Имеющиеся немногочисленные исследования по биогеохимии торфяных болот показали, что торфяные залежи представляют собой очень благоприятную среду для накопления микроэлементов, поступающих из земной коры в атмосферу. На пути движения минеральных веществ к конечным водоемам стока торфяные залежи выступают в качестве активных геохимических барьеров. При этом важная роль в перераспределении микроэлементов

принадлежит органическому веществу торфов, гумусовые кислоты которого благодаря своей высокой реакционной способности могут образовывать комплексы практически со всеми элементами, поступающими в торфяную залежь.

Элементный химический состав торфов зависит от многих факторов: содержания элементов в растительном опаде болотных растений, степени разложения торфа, положения торфяного болота в геохимическом ландшафте, его геохимической автономности или подчиненности, кислотнo-щелочного и окислительно-восстановительного режимов, подстилающих пород, геоморфологического положения. Так, согласно исследованиям В. Н. Крештаповой [8], проводившей исследования на европейской территории России, элементы Cr, Cu, Mn, Ga, Ni, связанные с основными породами (габбро, диабазами, базальтами), наиболее характерны для торфяных болот Среднеуральской увалисто-холмистой равнины. Обогащение рассеянными химическими элементами (Zr и Pb) изверженных пород (гранитов, гранитоидов) наблюдается в кислых торфяных болотах северо-западных областей. Высокие концентрации Ge, Zn, Mo, Cu типичны для торфяных болот, подстилающихся юрскими отложениями. Ф. Я. Сапрыкин [11] указывает, что в составе торфа преобладают V, Cr, Ni, Zn, если областью сноса являются ультраосновные породы с медно-никелевым оруденением. Если область сноса представлена плагиоклазовыми гранитами, кварцитами, песчаниками, конгломератами протерозойского возраста, в торфе устанавливаются минимальные содержания микроэлементов с преобладанием микроэлементов Ag, Zr, Y, Yb, La. Область сноса, сложенная осадочными породами, поставляет одинаковое количество элементов Cr, Co, V, Ni, Zn, Cu, Be, Pb.

В отношении торфообразования принципиально различают два типа биогеохимических ситуаций. Первая отвечает условиям, в которых формируются верховые болота и в которых основными растениями-торфообразователями являются сфагновые мхи. Вторая – эвтрофным биогеохимическим условиям, когда в результате торфообразовательного процесса формируются низинные болота. Происходящие в верховых болотах биогеохимические циклы массообмена определяются атмосферной миграцией потоков химических элементов. По этой причине верховые торфяники именуются геохимически автономными ландшафтами, и содержание элементов в них подчинено в большей степени климатическим факторам.

В условиях горного рельефа это положение может нарушаться, так как на уже сформировавшиеся болота мезотрофного типа возможно поступление мигрирующих вод с высокой минерализацией с окружающей территории, что будет способствовать формированию залежи низинного типа. Свообразны и условия образования болот низинного типа. Это обусловлено как разнообразием петрографии и гранулометрического состава подстилающих пород, так и ландшафтно-геохимической обстановкой в системе вертикальной поясности. В данном случае возможно получение фоновых значений элементов в торфах этой территории при определенном химическом составе подстилающих пород и выявление степени антропогенного вмешательства при анализе содержания микроэлементов в поверхностном

слое по сравнению с более глубокими слоями. Местное фоновое содержание элемента нормируется по его региональному фону, т. е. делается попытка уйти от нормированных по кларку значений и учесть, по возможности, специфику исследуемых в регионе торфяных болот.

Принимая во внимание вышесказанное, следует отметить, что исследования элементного состава торфяных болот – задача многоплановая и сложная. Целью наших исследований было изучение элементного состава торфов и болотных вод низинного и двух переходных болот на территории Северного Алтая.

Объекты исследования

Северный Алтай находится под влиянием западносибирского климата, но отличается меньшей континентальностью: зима теплее, лето холоднее, осадки в течение года распределяются более равномерно. В орорафическом отношении Северный Алтай граничит на севере с Западно-Сибирской равниной, на северо-востоке – с горными системами Западного Саяна и Горной Шории. Болота здесь развиваются преимущественно в долинах рек и имеют современное происхождение. Наибольшие площади болот сосредоточены именно здесь, где выпадает большое количество осадков и значительна мощность снегового покрова при невысоких уклонах стока вод по сравнению с другими районами Горного Алтая. С точки зрения болотообразования наибольший интерес среди многообразия форм горного рельефа в Северном Алтае представляют расширенные участки долин. Именно на таких участках низинные болота имеют мощную торфяную залежь (ТЗ), достигающую 7 м и более.

Горно-долинные болота питаются или речными водами, или водами поверхностного стока и ключей, выходящих на поверхность у подножья гор. Эти торфяные болота маломощны и сложены низинными тростниковыми, осоковыми, гипновыми и иногда древесными торфами, часто с включениями минеральных прослоев. Иногда заторфован бывает весь тальвег верхней части ключевой долины со всеми ее ответвлениями, тогда торфяное болото имеет характер ветвистой системы.

Чаще всего горные торфяные болота возникают вокруг горных озер и к настоящему времени заполняют всю озерную котловину, так что о бывшем в ней когда-то озере свидетельствуют только водно-озерные отложения, подстилающие торфяную залежь. Залежи таких болот относятся к низинному типу, а иногда к переходному и верховому.

В горах торфяные болота развиваются на довольно крутых склонах у выхода на поверхность ключевых вод (висячие болота). Разливаясь вниз по склону, воды обеспечивают условия избыточного увлажнения и способствуют заселению почв влаголюбивой растительностью. Залежь таких торфяных болот сложена низинными типами или осоково-гипновыми торфами малой и средней степени разложения. Мощность ее и занимаемая площадь невелики. При увлажнении склона атмосферными осадками вследствие конденсации их горными вершинами болота могут иметь верховой тип строения.

Геолого-генетические комплексы в составе нескальной группы пород представлены разнообразными осадками. В Северном Алтае преобладают отложения аллювиального, субэврального-аквального и склонового комплекса осадков.

К низинному типу относится болото Турочак, которое сформировалось в основном за счет резкого замедления скорости поверхностного и внутрипочвенного стока при изменении угла наклона поверхности от крутых склонов к слабонаклонной присклоновой части, которая и является генетическим центром этого болота. Растительность характеризуется древесно-осоковым фитоценозом. Древесный ярус представлен березой (*Betula alba* L.) высотой 8 м, диаметром 10 см, черемухой (*Padus avium* Mill), встречается сосна (*Pinus silvestris*). Подлесок средней густоты образован ивой (*Salix triandra*). Наземный ярус: кочки осоки пузырчатой (*Carex vesicaria* L.) высотой до 50 см, в понижениях хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), редко подмаренник северный (*Galium boreale* L.), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* L.), мышиный горошек (*Vicia cracca* L.).

Очень небольшое количество болот в Северном Алтае имеет смешанное атмосферно-грунтовое питание и может быть отнесено к классу переходных болот. Например, болота Кутюшское, Ынырга. Торфяное мезотрофное болото Кутюшское имеет смешанное атмосферно-грунтовое питание, характеризуется как переходное и относится к долинному типу. Растительность представлена безлесным пространством, в отдельных местах произрастает береза высотой 2–4 м с редкой сосной и, наоборот, сосна с редкой березой. В травяном ярусе отмечены подбел (*Andromeda*), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), осоки (*Carex caespitosa*, *Carex vesicaria* L., *C. acuta* L., *C. leporina* L.), росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), ятрышник шлемоносный (*Orchis militaris* L.), любка двулистная (*Platanthera bifolia* L.), редко мятлик (*Poa palustris* L.), горицвет – кукушкин цвет (*Coronaria flos-cuculi* L.), на кочках и по краю понижений произрастает подмаренник топяной (*Galium uliginosum* L.), клюква (*Vaccinium myrtillus* L.). Моховой ярус сложен сфагновыми мхами (*Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum*).

Современный растительный покров на площади торфяного болота Ынырга представлен эвтрофной и мезотрофной растительностью. Растительность характеризуется древесно-осоковым и осоково-сфагновым фитоценозами. Древесно-осоковый фитоценоз занимает значительную площадь торфяного болота. Здесь развиты разреженные насаждения березы (*Betula alba* L.) высотой до 8 м, диаметром 10 см. Подлесок средней густоты, образован ивой (*S. pentandra*), средняя высота которой 2 м. В кустарничковом ярусе единично встречаются клюква (*Oxycoccus palustris* Pers.). Травяной ярус представлен в основном осокой (*C. caespitosa*, *C. vesicaria* L., *C. diandra* Schrank, *Carex vesicaria* L.), реже отмечается тростник (*Phragmites australis*), хвощ (*Equisetum palustre*), камыш (*Scirpus lacustris*). Местами произрастает бодяк разнолистный (*Cirsium heterophyllum* (L.) Hill), папоротники (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Driopteris filix-mas* (L.) Schott), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Но-

lub), борщевик рассеченный (*Heraclium dissectum* L.). Болото расположено в низине, преобладают осоки (*Carex vesicaria* L., *C. acuta* L., *C. leporina* L.). Осоково-сфагновый низинный фитоценоз не имеет широкого распространения и встречается в северо-восточной части торфяного болота. Древесный ярус здесь отсутствует. В травяном ярусе отмечены осоки (*C. lasiocarpa*, *Ehrh*, *C. Limosa* L.). Моховой ярус сложен сфагновыми мхами, которые значительно угнетены. Административно все исследуемые болота располагаются в Турочакском районе Республики Алтай.

Методы исследования

Ботанический состав и степень разложения торфов определяли по ГОСТ 28245.2-89. Химический анализ торфов и болотных вод проводили в испытательной лаборатории ТГПУ (№ РОСС RU.0001.516054) по [10], гуминовых (ГК) и фульвовых кислот (ФК) – по [1]. Токсичные металлы определяли методом инверсионной вольтамперометрии [7]. Содержание химических элементов в торфах и в сухом остатке болотных вод и торфах определено на анализаторной спектрометрической установке фирмы CANBERRA. Радиоуглеродное датирование торфяных залежей проведено на радиоуглеродной установке QUANTULUS-1220 (бензолно-сцинтилляционный вариант) в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН.

Результаты

Торфяная залежь болота Турочак площадью 119 га, датируемая возрастом 7060 ± 90 лет, с поверхности до глубины 150 см сложена древесно-осоковым торфом со степенью разложения 20–55 % и зольностью 19,7–30,6 % (табл. 1), далее до глубины 350 см – травяным и древесно-травяным торфом с включениями (до 25 %) вахты и хвоща (20–30 %). На глубине 350–450 см ТЗ представлена травяным торфом с большой примесью вахты (до 65 %). В основании залежи – горизонт органоминеральных отложений (ОМО) до 2,5 м. Торфа – слабокислые (рН 4,4–4,7), с содержанием подвижных соединений азота N-NO₃ (25–33 мг/100 г), N-NH₄ (54–93 мг/100 г), фосфора P₂O₅ (34–146 мг/100 г), калия K₂O (13–28 мг/100 г с. т.).

Двухметровая ТЗ болота Кутюшское, датируемая возрастом 2215 ± 140 лет, сложена переходными торфами, степень разложения которых изменяется в широких пределах от 5 до 40 % (см. табл. 1). С поверхности и до 150 см залежь представлена верховыми и переходными торфами со степенью разложения 5–10 % и зольностью 2,8–7,9 %. С глубины 150 см залегает переходный шейхцериевый торф, в котором резко повышается степень разложения (до 35 %). Торфяная залежь по территории болота подстилается ОМО мощностью до 0,2 м. По болоту протекают реки Большой и Малый Кутюш. Торфа нормальнозольные, кислые (рН 3,8–4,2), с содержанием подвижных соединений азота N-NO₃ (25–39 мг/100 г), N-NH₄ (150–233 мг/100 г), фосфора P₂O₅ (10–16 мг/100 г), калия K₂O (11–51 мг/100 г с. т.).

Таблица 1

Характеристика болот Северного Алтая

Болото, тип, геоморфология	Координаты	Мощность, м	Виды торфа в профиле (сверху вниз)	Степень разложения, %	Зольность, %	Возраст, лет
Турочак, низинное присклоновое	52°13' с. ш. 87°06' в. д.	6,5	древесно-осоковый, травяной	20–55	19,7–30,6	7060±90 (СОАН 8034)
Кутюшское, переходное долинное	52°18' с. ш. 87°15' в. д.	2	магелланикум, балтикум, шейцерицево-осоковый	5–40	2,8–8,3	–
Ынырга, переходное долинное	52°18' с. ш. 87°15' в. д.	1,5	фускум, осоковый, папоротниковый	10–30	4,8–27,7	2215±140 (СОАН-8037)

Болото Ынырга площадью 1382 га характеризуется интервалом глубин ТЗ 0,3–2,1 м. Заболачивание началось у подножия горного склона. Увлажнение поверхности здесь происходило в основном за счет слабоминерализованных поверхностно-сточных вод, атмосферных осадков и вод снеготаяния. В результате торф этой части месторождения имеет относительно невысокую зольность, в пределах 4,8–27,7 %. Исключение составляют придонные слои, зольность которых увеличивается до 38 %. В формировании торфа малой степени разложения с зольностью до 10 % принимают участие переходный древесно-сфагновый торф, переходный древесно-осоковый торф. Повсеместное распространение лесных и лесо-топяных видов торфа в основании ТЗ свидетельствует о первоначальном заболачивании лесов. Избыточное увлажнение и активно развивающаяся болотная растительность вызвали угнетение и гибель лесов. В результате на значительной площади болота лесные и лесо-топяные виды торфа перекрыты топяными видами. Возраст болота датируется 2265±140 лет. В настоящее время основными источниками питания болота являются атмосферные осадки и воды снеготаяния, что благоприятствует распространению мезотрофной и олиготрофной растительности, формирующей торф переходного типа. Можно констатировать, что болото вступило в мезотрофную стадию развития. Подстилающими породами являются глины и суглинки.

Рассмотрим содержание тяжелых металлов (ТМ) в низинном (Турочак) и переходном (Кутюшское) болотах (табл. 2). Содержание Mn в низинных торфах в среднем по ТЗ изменяется от 2,7 до 18,3 мг/кг с. т. при среднем содержании 8,3 мг/кг. В переходных торфах болота Кутюшское пределы экстремальных значений значительно шире – 1,5–64,8 при среднем 14,4 мг/кг (табл. 2). ТМ в торфах Северного Алтая меньше по низинным торфам в

83,88 и 60 раз соответственно, по переходным – в 47,50 и 34 раза. Распределение Mn по профилю ТЗ равномерное.

Похожая ситуация наблюдается с Cd: больше (в 3 раза по среднему значению) его содержится в переходных торфах Северного Алтая по сравнению с низинными, распределение по ТЗ равномерное. При сравнении с содержанием Cd в почвообразующих породах и почвах Алтайской горной области содержание в низинных торфах превышает в 10–40 раз и в 250–290 – в переходных торфах. Остальные ТМ (Fe, Zn, Cu, Pb) в больших концентрациях содержатся в низинных торфах только болота Турочак. Так, среднее содержание Fe в ТЗ низинного болота составило $15,5 \pm 1,6$ г/кг, переходного – $1,4-0,2$ г/кг; по содержанию Zn – $19,3 \pm 1,9$ и $9,7-0,9$ мг/кг соответственно, Cu – $6,0 \pm 0,6$ и $5,4-0,5$ и Pb – $3,9 \pm 0,4$ и $0,20-0,0$ мг/кг. Содержание этих четырех элементов в торфяных болотах Северного Алтая ниже, чем в почвообразующих породах и почвах Алтайской горной области и юго-восточной части Западной Сибири. Распределение по профилю ТЗ также равномерное. Небольшое накопление можно отметить в поверхностном слое ТЗ (в 2 раза) для Pb. Превышение содержания Fe в верхних слоях изучаемых болот по сравнению с подстилающими породами и почвами отмечается также в болоте Турочак.

Сравнение параметров содержания ТМ с кларком в почвах мира [6] показало экологическую чистоту торфяных болот по всем рассмотренным элементам. Исключение составляет Cd, который концентрируется в торфе от 2- до 30-кратного количества относительно фонового содержания в почвах Алтайской горной области и превышает кларк в почвах мира (это относится только к переходному Кутюшскому болоту). Нами ранее была выявлена небольшая подвижность этого элемента – $0,024$ мг/кг, что составляет 1/10 часть от его валового количества.

Следует отметить, что распределение элементов в ТЗ болота косвенно свидетельствует о степени экологической чистоты отдельных временных периодов роста торфяника. Торфяные болота формируются в результате отмирания и неполного разложения болотной растительности и поэтому содержат органическое вещество до 98 %. По этой причине в торфяных болотах основная роль в связывании элементов принадлежит органическому веществу. Так, согласно литературным данным, гуминовые вещества торфов (главным образом гуминовые и фульвокислоты) благодаря своей высокой обменной емкости обеспечивают образование прочных обменных комплексных соединений с ионами металлов. В. М. Варшал и др. [2] отмечают накопление в органическом веществе торфов Cs, Sr, Ce, Ru, Pb, Cu, Cd, Au. Результаты изучения элементного состава торфов разного ботанического состава показали, что распределение химических элементов определяется также видовым разнообразием торфов. Кроме того, можно предположить влияние еще двух факторов, таких как подстилающие породы и аэрозольный перенос с воздушными потоками. Основываясь на вышеизложенном материале, следует сделать заключение, что концентрации ТМ в торфяных болотах Северного Алтая можно считать фоновыми.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в торфах болот, мг/кг с. т.

Глубина, м	Mn	Fe*	Zn	Cu	Cd	Pb
Турочак						
1	$\frac{6,0-13,2}{9,3\pm 2,1}$	$\frac{9,3-19,1}{13,4\pm 2,9}$	$\frac{13,7-34,3}{22,6\pm 6,1}$	$\frac{5,2-6,5}{5,7\pm 0,4}$	$\frac{0,3-0,5}{0,4\pm 0,1}$	$\frac{3,3-10,0}{5,9\pm 2,1}$
2	$\frac{4,2-13,5}{9,3\pm 1,1}$	$\frac{6,0-27,9}{15\pm 2,6}$	$\frac{8,5-44,1}{24,6\pm 4,5}$	$\frac{3,7-13,6}{7,6\pm 1,3}$	$\frac{0,2-0,6}{0,4\pm 0,0}$	$\frac{3,4-6,1}{4,7\pm 0,4}$
3	$\frac{2,7-18,3}{9,3\pm 1,7}$	$\frac{7,9-27,4}{15,9\pm 2,6}$	$\frac{6,6-29,4}{19,2\pm 2,5}$	$\frac{1,9-10,7}{6,5\pm 1,1}$	$\frac{0,1-0,4}{0,30\pm 0,0}$	$\frac{1,0-6,2}{3,8\pm 0,6}$
4	$\frac{3,5-9,2}{5,8\pm 0,7}$	$\frac{6,6-40,3}{16,3\pm 4}$	$\frac{6,7-26,3}{12,7\pm 2,3}$	$\frac{1,5-5,9}{4,1\pm 0,5}$	$\frac{0,1-0,3}{0,20\pm 0,0}$	$\frac{1,2-4,2}{2,5\pm 0,3}$
Среднее по залежи	$\frac{2,7-18,3}{8,3\pm 0,7}$	$\frac{6-40,4}{15,5\pm 1,6}$	$\frac{6,6-44,1}{19,3\pm 1,9}$	$\frac{1,5-13,6}{6\pm 0,6}$	$\frac{0,12-0,6}{0,30\pm 0,0}$	$\frac{1-10}{3,9\pm 0,4}$
Кутюшское						
1	$\frac{1,5-64,8}{11,5\pm 2,4}$	$\frac{0,2-3,2}{1,2\pm 0,2}$	$\frac{2,5-26,3}{9,8\pm 1,1}$	$\frac{0,6-18,4}{5,9\pm 0,8}$	$\frac{0,7-9,5}{2,9\pm 0,4}$	$\frac{0,1-0,4}{0,20\pm 0,0}$
2	$\frac{1,5-53,4}{17,8\pm 3,1}$	$\frac{0,4-5,1}{1,7\pm 0,3}$	$\frac{1,8-26,2}{9,6\pm 1,6}$	$\frac{0,6-8,7}{4,8\pm 0,5}$	$\frac{1,04-4,57}{2,5\pm 0,2}$	$\frac{0,1-0,7}{0,20\pm 0,0}$
Среднее по залежи	$\frac{1,5-64,8}{14,4-1,9}$	$\frac{0,2-5,1}{1,4-0,2}$	$\frac{1,8-26,3}{9,7-0,9}$	$\frac{0,6-18,4}{5,4-0,5}$	$\frac{0,7-9,5}{2,7-0,2}$	$\frac{0,1-0,7}{0,20-0,0}$
Торф Западной Сибири [4]	$\frac{9,2-2410,0}{485,7}$	$\frac{0,4-42,0}{10,5}$	15,47±0,4	$\frac{0,3-135,0}{15,5}$	–	$\frac{0,7-19,0}{4,9}$
Почвообразующие породы Алтая [3]	$\frac{664,9\pm 17,4}{4}$	–	55,7±1,6	45,1±1,3	0,01–2,2	19,9±1,3
Почвы Алтая [3]	$\frac{707,5\pm 10,5}{5}$	–	58,3±0,7	40,6±0,6	0,01–0,11	19,1±0,9
Кларк в почвах мира [5]	545	–	61,5	23,0	0,5	10

Примечание. Числитель – экстремальные значения, знаменатель – среднее и ошибка среднего; Fe* – г/кг, с. т. – сухой торф, «–» – не определяли.

Болота, разные по площади и, соответственно, условиям залегания, могут иметь неодинаковое содержание химических элементов в разных их частях. В связи с этим интересно рассмотреть пространственную изменчивость содержания, например, трех элементов (Mn, Zn и Cu) на примере болота Кутюшское (рис. 1). По продольной линии болота с интервалом в 50 м от центра (точка 7) к его окрайке (точка 13) были отобраны образцы торфа. Мощность ТЗ по точкам от центра болота уменьшается в следующем порядке: 2,25; 2,30; 1,8; 2,0; 1,2; 1,0; 0,5 м. Наибольшее содержание Mn (37,5 мг/кг с. т.) отмечается в точке 10 с глубиной 2,0 м. Это примерно такая же мощность ТЗ, что и в точках 7–9, в которых содержание Mn меньше в 7–10 раз.

Содержание цинка в центре болота и на его окрайке оказалось одинаковым, а в промежутке между этими точками отмечается два пика его увеличе-

ния в точках 10 и 12. Содержание меди также уменьшается к окрайке болота и имеет один пик в точке 10. То есть обнаруживается одна общая закономерность – к окрайке болота содержание этих элементов снижается. Таким образом, очевидна неоднородность концентрации ТМ в торфах по территории болота. Надо полагать, что неоднородность распределения химических элементов даже в пределах одного торфяного болота во многом определяется геоморфологией, а также может изменяться по глубине и во времени, что предполагает увеличение числа отбора образцов на объекте исследования.

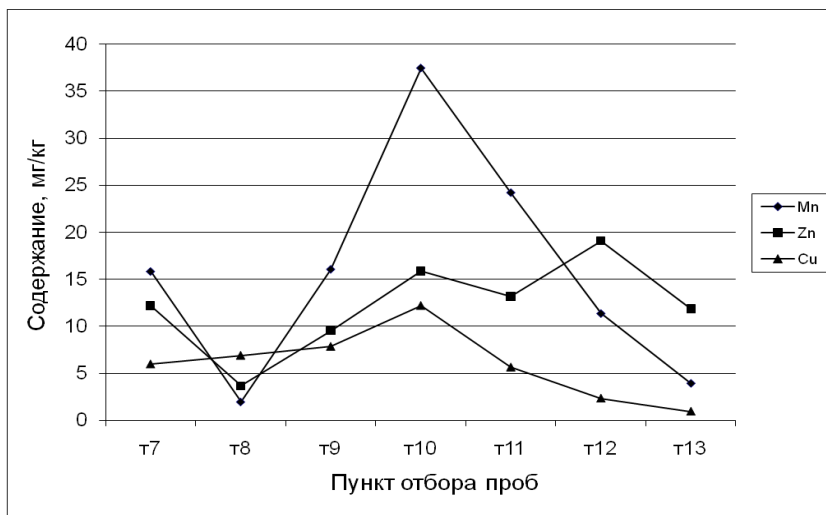


Рис. 1. Содержание Mn, Zn и Cu в болотной воде на территории болота Кутюшское (т. – точка отбора проб, т. 7 – т. 13, с. т. – сухой торф)

Большее количество элементов определяется атомно-адсорбционным методом. Проведем анализ полученных результатов по трем болотам Северного Алтая (табл. 3).

Распределение химических элементов по профилю ТЗ подчинено следующей закономерности: в торфах низинного болота практически все элементы накапливаются в верхнем слое до 225 см, ближе к подстилающим породам их концентрация значительно снижается. Равномерное распределение по профилю залежи отмечается у восьми элементов: Yb, Hf, Sr, As, Br, Cs, Fe, Sb. Несколько иная закономерность проявляется в переходных болотах. Содержание всех элементов в ТЗ переходных болот Кутюшское и Ынырга увеличивается к подстилающим породам, и это увеличение очень значительное (в 100 и более раз). Поэтому в табл. 3 содержание химических элементов выделено отдельной строкой. На данный момент мы не находим объяснения этому факту. Но различие в содержании химических элементов отмечается и в ТЗ одинаковых по генезису переходных болот Кутюшское и Ынырга. Это увеличение всегда в большей степени проявляется в ТЗ болота Кутюшское. Только в случае элемента Br была нарушена такая закономерность. Распределение этого элемента в профиле было равномерным без увеличения к подстилающей породе и отмечалось это в обоих переходных болотах.

Таблица 3
Содержание химических элементов в торфяных болотах Северного Алтая, мг/кг с. т. (содержание Са, Fe в %, с. т. – сухой торф)

Глубина, см	Sm	Ce	Sa	Lu	U	Th	Cr	Yb	Hf	Ba	Sr	Nd	As	Br	Cs	Tb	Sc	Rb	Fe	Zn	Ta	Co	Eu	La	Sb
болото Турочак																									
0–25	3,5	26,7	0,6	0,2	0,9	3,9	44,7	1,7	1,1	175,0	10,0	14,1	3,7	23,8	3,3	0,5	7,4	41,5	1,6	94,9	0,1	5,2	0,8	18,2	0,5
75–100	3,4	32,0	0,5	0,3	1,0	4,4	48,1	1,7	1,1	181,0	30,4	9,4	4,2	25,3	3,4	0,4	8,0	41,3	1,6	88,7	0,9	5,5	1,0	17,8	1,0
200–225	4,0	37,1	0,6	0,3	1,3	5,2	57,9	1,8	1,4	231,0	10,0	16,1	5,0	26,1	4,4	0,6	9,6	49,6	2,1	92,0	0,2	6,3	1,0	19,7	0,7
250–275	2,6	24,7	0,5	0,2	1,0	3,5	43,8	1,3	1,1	185,0	10,0	8,7	2,8	23,1	3,4	0,5	7,4	40,0	1,6	67,0	0,2	4,7	0,7	13,7	0,4
375–400	2,4	24,0	0,7	0,2	1,0	3,8	46,3	1,2	1,1	168,0	69,9	8,4	4,3	29,5	3,5	0,4	7,4	37,0	1,6	80,8	0,3	4,8	0,6	12,3	0,6
среднее по залежи	3,2	28,9	0,6	0,2	1,0	4,2	48,2	1,6	1,2	188,0	26,1	11,3	4,0	25,6	3,6	0,5	8,0	41,9	1,7	84,7	0,4	5,3	0,8	16,3	0,6
болото Кутлюское																									
0–75	0,2	2,3	0,1	0,0	0,1	0,3	2,8	0,1	0,1	10,0	5,1	1,0	0,6	7,3	0,1	0,0	0,4	1,8	0,2	17,5	0,0	0,5	0,0	0,8	0,1
75–100	0,2	2,4	0,2	0,0	0,1	0,3	2,6	0,1	0,1	14,0	15,4	1,0	0,5	8,7	0,1	0,0	0,4	1,6	0,2	9,7	0,0	0,6	0,1	0,8	0,1
100–125	0,6	7,8	0,2	0,0	0,3	1,3	8,5	0,3	0,3	36,0	13,0	2,2	1,0	9,9	0,5	0,1	1,6	6,5	0,3	14,0	0,0	1,1	0,1	2,6	0,1
175–200	0,7	9,0	0,2	0,1	0,4	1,2	11,4	0,4	0,4	33,0	10,0	2,7	1,3	11,9	0,6	0,0	2,1	7,9	0,2	17,6	0,1	0,9	0,1	3,2	0,1
болото Ынырга																									
0–25	1,1	11,9	0,4	0,1	0,1	0,3	4,0	0,6	0,0	43,0	25,2	4,4	4,7	18,7	0,2	0,2	0,6	5,8	1,6	56,5	0,0	3,7	0,2	3,9	0,1
75–100	2,0	20,5	0,3	0,1	0,5	2,0	14,4	0,9	0,7	67,0	10,0	7,5	2,8	16,1	1,0	0,3	3,4	12,1	0,6	15,5	0,1	2,4	0,4	8,1	0,3
среднее по залежи	0,8	9,0	0,2	0,1	0,3	0,9	7,3	0,4	0,3	33,8	13,1	3,1	1,8	12,1	0,4	0,1	1,4	6,0	0,5	21,8	0,0	1,5	0,2	3,2	0,1
болото Кутлюское, придонный слой																									
140–150	3,8	24,8	0,8	0,4	2,0	4,3	60,4	2,4	3,9	290,0	58,1	17,6	5,6	9,5	4,5	0,7	10,6	57,5	2,0	67,2	0,7	6,4	1,0	22,5	0,5
228–250	6,6	60,6	0,9	0,4	3,5	10,2	108,2	2,9	3,5	432,0	10,0	27,4	7,2	5,3	7,1	1,2	20,0	76,5	3,1	123,8	0,8	10,5	1,8	35,3	1,0
среднее по придонному слою	5,2	42,7	0,8	0,4	2,7	7,3	84,3	2,7	3,7	361,0	34,1	22,5	6,4	7,4	5,8	1,0	15,3	67,0	2,6	95,5	0,8	8,5	1,4	28,9	0,8

Сопоставление содержания химических элементов в болотах Северного Алтая и в верховых и низинных торфах юго-восточной части Западно-Сибирской равнины [3] показало, что в торфах низинных болот Северного Алтая оно выше по большинству элементов, за исключением Вг и Sr. Переходные торфа Алтая соответствуют верховым торфам Западной Сибири по содержанию элементов Sc, Co, Br, Sr, Sr, Th, U, но только в верхнем слое торфяной залежи. В придонных слоях переходных болот Алтая наблюдается превышение содержания рассматриваемых химических элементов по сравнению с торфами Западной Сибири не только в верховых, но часто и в низинных торфах, что выше уже отмечалось.

Проведем сравнительный анализ распределения химических элементов в торфах Северного Алтая и в почвах мира (рис. 2). С учетом полученных результатов исследования содержания химических элементов в торфах Алтая (см. табл. 3) для проведения такого сравнения были взяты показатели состава торфов только до придонных слоев. Содержание элементов в рассматриваемых торфах по сравнению с почвами мира – нижекларковое, за исключением La и Вг. Особенно низким содержанием в торфах по сравнению с кларками почв характеризуются Lu. Его содержание в переходных торфах Северного Алтая меньше в 200 – для переходных залежей и в 77 раз – для низинных. Содержание элементов в низинных торфах очень близко к средним показателям содержания всех элементов в почвах мира, за исключением уже отмеченных выше.

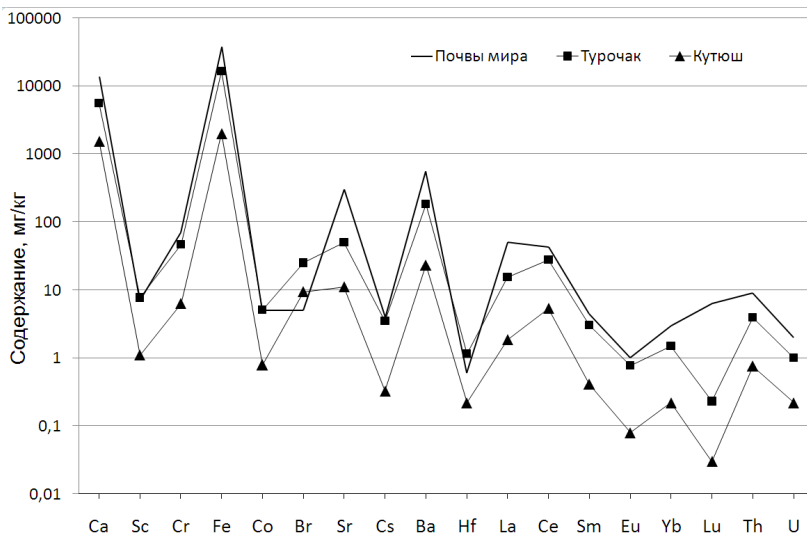


Рис. 2. Среднее содержание химических элементов в почвах мира и торфах болот Северного Алтая, мг/кг

Известно, что болотные системы – геохимические барьеры, которые из-за своей высокой сорбционной способности закрепляют большой спектр веществ, выводя их из круговорота веществ. Атмосферные осадки, прежде

чем попасть в подземные водоносные горизонты, проходят стадию болотного генезиса. В органогенной среде ТЗ преобразуются в грунтовые воды, питающие болотно-речные экосистемы. В итоге образуются пресные воды, обогащенные углекислотой, метаном, растворенными органическими веществами, железом, марганцем и другими болотными компонентами. Так образуется особый вид болотных вод, состав которых и процессы взаимодействия в которых изучены недостаточно. Рассмотрим содержание химических элементов в болотных водах переходных и низинных болот Северного Алтая (табл. 4). Только по двум элементам (Сг и Та) содержание одинаково в болотных водах изучаемых болот, но Сг имеет высокие значения содержания, в то время как содержание Та изменяется от 0,006 мкг/л в водах низинного болота до 0,015 мкг/л в водах переходного болота Ынырга.

Большее содержание 13 элементов из 22 определяемых элементов отмечается в болотных водах низинного болота. И только 6 элементов из 22 определяемых показали большее содержание в болотных водах болота Кутюшское (Nd, As, Cs, Rb, Zn, Sb). По содержанию элементов в болотных водах отмечается различие и между переходными болотами. Так, в болотных водах болота Ынырга происходит накопление некоторых элементов, превышающее их содержание в болотных водах низинного болота и переходного болота Кутюшское. В особенности это относится к U, As. В то время как в болотных водах переходного болота Кутюшское накапливается Rb (4,411 мкг/л). Для сравнения в табл. 4 приведено содержание химических элементов в снежном покрове изучаемых болот, которое свидетельствует об отсутствии загрязняющих аэрозольных осадков с других территорий.

Таблица 4

Содержание химических элементов в болотных водах и снеге,
Северный Алтай, мкг/л

Элементы	Болото			Снег с болота	
	Турочак	Кутюшское	Ынырга	Турочак	Кутюшское
Sm	0,119	0,062	0,076	<0,001	0,002
Ce	0,882	0,496	0,898	0,005	0,025
Lu	0,013	0,005	0,01	<0,001	<0,001
U	0,018	0,016	1,417	0,002	0,009
Th	0,158	0,061	0,174	0,001	0,004
Cr	1,852	1,597	1,702	0,482	0,48
Yb	0,072	0,031	0,036	<0,001	0,001
Au	0,003	0,003	0,002	<0,001	0,001
Hf	0,034	<0,001	0,004	<0,001	0,001
Nd	0,21	0,318	0,349	0,004	0,008
As	0,964	1,425	5,267	0,005	0,088
Ag	0,348	0,051	0,088	0,25	0,012
Cs	0,055	0,111	0,127	0,003	0,003
Tb	0,032	0,002	0,014	<0,001	<0,001
Sc	0,21	0,064	0,136	0,001	0,003
Rb	2,652	4,411	1,364	0,115	0,083
Zn	11,46	16,98	10,15	1,688	1,33

Окончание табл. 4

Элементы	Болото			Снег с болота	
	Турочак	Кутюшское	Ынырга	Турочак	Кутюшское
Ta	0,006	0,009	0,015	<0,001	<0,001
Co	0,546	0,704	1,951	0,072	0,031
Eu	0,031	0,015	0,01	<0,001	0,001
La	0,476	0,191	0,386	0,001	0,011
Sb	0,122	3,41	0,58	0,025	0,025

Можно утверждать, что болотные воды по элементному составу являются чистыми природными водами. Из всех исследуемых элементов с показателями ПДК можем сравнить только по Fe, Zn, Cr, Co. Содержание этих элементов в болотных водах ниже значений ПДК. Превышений уровня ПДК макро- и микрокомпонентов не выявлено и в поверхностных водах Горного Алтая [9].

Выводы

1. По условиям торфогенеза верховые торфа по сравнению с низинными, как правило, характеризуются меньшим содержанием ТМ. В переходных торфах Северного Алтая отмечается равномерно большее содержание Cd и Mn по всей торфяной залежи. Остальные элементы Fe, Zn, Cu, Pb имеют большее содержание в низинных торфах. Распределение в профиле торфяной залежи равномерное, за исключением Pb и Fe, по которым отмечается небольшое накопление в поверхностном слое. В целом содержание ТМ в торфяных болотах Северного Алтая много ниже, чем в почвах и почвообразующих породах Алтайской горной области. При сравнении с кларками в почвах мира этот вывод подтвердился. Исключение отмечалось только в одном случае – Cd в торфах переходного болота превысил значение кларка.

2. Содержание химических элементов, определенных нейтронно-активационным анализом, характеризуется невысокими значениями, но есть различия в разных типах болот. Так, в низинном болоте происходит концентрация элементов в верхнем слое торфяной залежи (до 225 см), а в переходной торфяной залежи достоверно увеличивается содержание практически всех химических элементов в слое, прилегающем к подстилающей породе. Поэтому сравнение с кларками химических элементов и с данными по другим территориям проводили без учета придонного слоя для переходной залежи. Этот анализ подтвердил экологическую чистоту болот Северного Алтая.

3. Проведенные исследования содержания химических элементов в болотных водах показали, что болотные воды по элементному составу являются чистыми природными водами. Отдельные рассматриваемые элементы (Fe, Zn, Cr, Co) в болотных водах содержатся ниже значений ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопотребления. Таким образом, торфяные болота и болотные воды болот Северного Алтая относятся к экологически чистым объектам.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 5.7004.2017/БЧ).

Список литературы

1. *Базин Е. Т.* Технический анализ торфа / Е. Т. Базин, В. Д. Копенкин., В. И. Косов. – М. : Недра, 1992. – 431 с.
2. Сорбция тяжелых металлов и изотопных носителей долгоживущих радионуклидов на гуминовой кислоте: Сообщение I. Сорбция цезия (I), стронция (II), церия (III), рутения (IV) на гуминовой кислоте / Г. М. Варшал, И. Я. Кошеева, Т. К. Велюханова, Д. Н. Чхетия, О. А. Тютюнник, Ж. М. Гриневская // *Геохимия*. – 1996. – № 11. – С. 1107–1112.
3. *Езупенок Е. Э.* Содержание химических элементов в торфах и торфяных почвах южнотаежной подзоны Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е. Э. Езупенок. – Томск, 2005. – 20 с.
4. *Ельчиногова О. А.* Микроэлементы в наземных экосистемах Алтайской горной области : автореф. дис. ... д-ра с/х наук / О. А. Ельчиногова. – Барнаул, 2009. – 35 с.
5. *Инишева Л. И.* Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины / Л. И. Инишева, Т. Н. Цыбукова // *География и природ. ресурсы*. – 1999. – № 1. – С. 45–51.
6. *Кабата-Пендиас А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
7. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей (МУ 31-11/05 ФР.1.34.2005.02119).
8. *Крештапова В. П.* Агрехимическая классификация торфяных почв в связи с их сельскохозяйственным использованием / В. П. Крештапова // *Почвоведение: аспекты, проблемы, решения*. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2003. – С. 71–88.
9. *Пузанов А. В.* Содержание и распределение основных макро- и микроэлементов в поверхностных водах Алтая / А. В. Пузанов, С. В. Бабوشкина, И. В. Горбачев // *Вод. ресурсы*. – 2015. – Т. 42, № 3. – С. 298–310.
10. *Резников А. А.* Методы анализа природных вод / А. А. Резников, Е. П. Муликовская, И. Ю. Соколова. – М. : Недра, 1970. – 488 с.
11. *Сапрыкин Ф. Я.* Геохимия почв и охрана природы / Ф. Я. Сапрыкин. – Л. : Наука, 1984. – 231 с.

The Contents of Chemical Elements in Mire Ecosystems of the North Altai

G. V. Larina

Gorno-Altai State University

L. I. Inisheva, E. V. Porohina

Tomsk State Pedagogical University

Abstract. Wetland ecosystems perform several functions: hydrological, geomorphological, climatological, etc. They serve as a natural filter, absorbing toxic elements. Therefore, the research contents of chemical elements in peat deposits of bogs and in bog waters is great interest for the ecological status of the territory. The purpose of our research was to study the elemental composition of peat and bog waters of fen (Turochak) and 2 transitional bogs (Kutush and Ynyrga) on the territory of Northern Altai. Turochak bog, an area of 119 hectares, the age of 7060±90, the bog depth of peat deposits up to 6 m and the basal rock by organic-mineral sediments. The peatland of transitional bog Kutush, the age of 2215±140 years, the bog depth of peat deposits up to 2.0 m, an area of 850 hectares and the basal rock by organic-mineral sediments. The transitional bog Ynyrga, an area of 1382

hectares, the bog depth of peat deposits up to 2.1, the age of 2265±140 years and the basal rock by clay and loam. Chemical elements were determined by the methods of Inversion voltamperometry and neutron activation. Researches have shown that content of chemical elements in peat bogs is smaller than in soils and the basal rocks of the Altai mountain region. In fens of Altai is concentration of elements in the upper layer of peat deposits (up to 225 cm) and transitional peat deposits significantly increases the contents of almost all chemical elements in the layer near the basal rocks. Thus, peat deposits of bogs and in bog waters of the North Altai are ecological clean.

Keywords: mires, Altai, bog waters, peat, properties, chemical elements, peat deposits, organic matter, background content, ecology.

References

1. Bazin E.T., Kopenkin V.D., Kosov V.I. *Tekhnicheskii analiz torfa*. Moscow, Nedra, 1992, 431 p.
2. Varshal G.M., Koshcheeva I.Ya., Velyukhanova T.K., Chkhe-tiya D.N., Tyutyunnik O.A., Grinevskaya Zh.M. Sorbtsiya tyazhelykh metallov i izotopnykh nositelei dolgozhivushchikh radio-nuklidov na guminovoi kislote: Soobshchenie I. Sorbtsiya tseziya (I), strontsiya (II), tseriya (III), ruteniya (IV) na guminovoi [Geokhimiya], 1996, no 11, pp. 1107-1112 (in Russian).
3. Ezupenok E.E. Soderzhanie khimicheskikh elementov v torfakh i torfyanykh pochvakh yuzhno-taezhnoi podzony Zapadnoi Sibiri. *Extended abstract of candidate's thesis*. Tomsk, 2005, 20 p. (in Russian).
4. El'chinina O.A. Mikroelementy v nazemnykh ekosistemakh Altaiskoi gornoj oblasti. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Barnaul, 2009, 35 p. (in Russian).
5. Inisheva L.I., Tsybukova T.N. *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka torfov yugovostoka Zapadno-Sibirskoi ravniny*. [Geografiya i prirodnye resursy], 1999, no 1, pp. 45-51 (in Russian).
6. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. Moscow, Mir, 1989, 439 p.
7. *Kolichestvennyi khimicheskii analiz prob pochv, teplichnykh gruntov, ilov, donnykh otlozhenii, sapropelei*. (MU 31-11/05 FR.1.34.2005.02119).
8. Kreshchapova V.P. *Agrokhimicheskaya klassifikatsiya torfyanykh pochv v svyazi s ikh sel'sko-khozyaistvennym ispol'zovaniem. Pochvovedenie: aspekty, problemy, re-sheniya*. Moscow, Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 2003, pp. 71-88 (in Russian).
9. Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Gorbachev I.V. *Soderzhanie i raspredelenie osnovnykh makro- i mikroelementov v po-verkhnostnykh vodakh Altaya. Vodnye resursy*, 2015, vol. 42, no 3, pp. 298-310 (in Russian).
10. Reznikov A.A., Mulikovskaya E.P., Sokolova I.Yu. *Metody analiza prirodnykh vod*. Moscow, Nedra, 1970, 488 p.
11. Saprykin F.Ya. *Geokhimiya pochv i okhrana prirody*. Leningrad, Nauka, 1984. 231 p.

Ларина Галина Васильевна
кандидат химических наук, доцент
Горно-Алтайский государственный
университет
649000, г. Горно-Алтайск, ул. Ленкина, 1
тел.: (3882) 22-64-39
e-mail: knh@gasu.ru

Larina Galina Vasilevna
Candidate of Sciences (Chemistry),
Associate Professor
Gorno-Altai State University
1, Lenkin st., Gorno-Altai, 649000
tel.: (3882) 22-64-39
e-mail: knh@gasu.ru

Инишева Лидия Ивановна
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, член-корреспондент РАН
научный руководитель, лаборатория
агроэкологии
Томский государственный
педагогический университет
634041, г. Томск, ул. Киевская, 60
тел.: (382-2) 52-00-99
e-mail: inisheva@mail.ru

Inisheva Lidia Inovna
Doctor of Sciences (Agriculture),
Professor, Corresponding member RAS,
Sciences Director, Agroecology Laboratory
Tomsk State Pedagogical University
60, Kievskaya st., Tomsk, 634061
tel.: (3822) 52-00-99
e-mail: inisheva@mail.ru

Порохина Екатерина Владимировна
кандидат биологических наук, доцент
Томский государственный
педагогический университет
634041, г. Томск, ул. Киевская, 60
тел.: (3822) 52-18-45
e-mail: porohkatrin@yandex.ru

Porohina Ekaterina Vladimirovna
Candidate of Sciences (Biology), Associate
Professor
Tomsk State Pedagogical University
60, Kievskaya st., Tomsk, 634061
tel.: (3822) 52-18-45
e-mail: porohkatrin@yandex.ru